

УДК 622.625.28-83

О. Н. Синчук, д-р техн. наук,
Э. С. Гузов, И. О. Синчук, кандидаты техн. наук,
Е. И. Скапа, М. А. Баулина

ТЯГОВЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ГИБРИДНОГО ДВУХОСНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА С АВТОМАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ

Аннотация. Изложены результаты исследований по разработке тягового электромеханического комплекса для гибридного контактно-аккумуляторного двухосного (рудничного) электровоза. Приведена базовая структура энергоэффективного тягового электрического комплекса с автоматизированным управлением при выполнении погрузочных и разгрузочных работ.

Ключевые слова: гибридный контактно-аккумуляторный электровоз, асинхронный электрический привод, автоматизация.

O. M. Sinchuk, ScD.,
E. S. Guzov, PhD., **I. O. Sinchuk**, PhD.,
E. I. Skapa, **M. A. Baulina**

TRACTION ASYNCHRONOUS DRIVE OF HYBRID BIAxIAL ELECTRIC LOCOMOTIVE WITH AUTOMATIC CONTROL

Abstract. There are the results of development of traction electro mechanics complex for a pin-storage-battery mine biaxial electric locomotive are expounded in the article. A base structure over of energy effective traction electrical engineering complex with the automated management of loading and unloading works is brought.

Keywords: hybrid pin-storage-battery electric locomotive, asynchronous drive, automation.

O. M. Синчук, д-р техн. наук,
Е. С. Гузов, , I.O. Синчук, кандидаты техн. наук,
Є. І. Скапа, М. А.Бауліна

ТЯГОВИЙ АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВІД ГІБРИДНОГО ДВОХОСЬОВОГО ЕЛЕКТРОВОЗА З АВТОМАТИЧНИМ КЕРУВАННЯМ

Анотація. Викладено результати досліджень щодо розробки тягового електромеханічного комплексу для гібридного контактно-аккумуляторного двоохосьового (рудничного) електровоза. Наведена базова структура енергоефективного тягового електричного комплексу з автоматизованим керуванням під час виконання навантажувальних та розвантажувальних робіт.

Ключові слова: гібридний контактно-аккумуляторний електровоз, асинхронний електричний привод, автоматизація.

На отечественных предприятиях с подземной технологией ведения работ эксплуатируется более 4 тыс. двухосных электровозов, которые официально классифицируются как рудничные и насчитывают 20 разных видов [1]. В настоящее время уровень технического износа эксплуатируемых электровозов составляет около 75–80 % [1–3].

При темпах отставания вывода из эксплуатации и списания из-за износа электрооборудования в качестве производственных фондов отечественных горно–металлургических предприятий в 3,5 – 4,0 раза темпы вывода из эксплуатации электровозов отстают в 5,5–6,0 раз от нормативных.

При таких темпах реального выведения изношенных электровозов из эксплуатации в

Отечественных горно–металлургических предприятиях необходимо около 25–30 лет, что значительно отдалает ожидаемое производственниками решение проблемы повышения эффективности транспорта [1]. Поэтому без изменения стратегии разработки и, что важно, выпуска новых видов отечественных двухосных электровозов реальным направлением для отмеченных предприятий с минимальным инвестиционным сроком является модернизация существующих видов путём замены в них тяговых энергомеханических комплексов (электроприводов) на новые – энергоэффективные и приспособленные к внедрению на их основе автоматизированные системы управления. Последнее особенно важно ещё и потому, что на отечественных подземных горно–металлургических предприятиях в последние несколько лет

© Синчук О.Н., Гузов Э.С., Синчук И.О.,
Скапа Е.И., Баулина М.А., 2012

количество поражений горняков при их несанкционированном касании контактного провода (КП) значительно возросло [3].

Выходом из такой ситуации и одновременно решением проблемы повышения эффективности электровозного транспорта (о которой шла речь ранее) является создание базовой принципиальной модели рудничного электровоза, способного обеспечить выполнение поставленных задач [3].

Такой моделью является гибридный контактно-аккумуляторный электровоз, который при движении в главных выработках рудников будет работать в автоматизированном режиме управления и питания от контактной сети, а в опасных, с точки зрения поражения рабочих электрическим током при касании контактного провода – местах погрузки-разгрузки – в автономном – от тяговой аккумуляторной батареи с автоматическим управлением этим процессом [4].

Базовым типом электровоза для преобразования его в гибридный может быть контактный двухосный электровоз.

Вместе с тем, достижение желаемой эффективности (в том числе энергоэффективности) путем создания электровоза такого вида должно базироваться на современном типе и структуре тягового электротехнического комплекса (ТЭТК).

Существующие же ТЭТК не отвечают современным условиям по причине:

значительных потерь энергии в реостатах, составляющих около 30 % от общей потребляемой энергии;

низкой надежности тяговых двигателей постоянного тока, срок службы которых часто не превышает нескольких месяцев, и больших затрат на их ремонт и эксплуатацию;

низкой надежности контроллеров и контакторов системы управления;

большой опасности для машиниста электровоза из-за наличия силового контроллера, коммутирующего значительные по величине токи в кабине машиниста, крышки которых легко прожигаются электрической дугой;

невозможности в полной мере реализовать тяговые возможности электровоза вследствие ступенчатого регулирования на-

пряжения на зажимах тяговых электрических двигателей (ТЭД);

невозможности применить устройства автоматизации управления режимами работы электровозов.

Как показывают результаты исследований [3], достичь требуемой эффективности функционирования любых видов рудничных электровозов можно, применив на них ТЭТК типа IGBT–преобразователь – асинхронные тяговые двигатели с микропроцессорной системой управления. При этом по сравнению с ТЭТК постоянного тока ожидаемы следующие преимущества данного варианта:

повышение в 4–5 раз надежности тяговых асинхронных двигателей (ТАД);

повышение безопасности эксплуатации в условиях повышенной опасности шахт и рудников;

возможность ожидаемого снижения габаритов тяговых двигателей и увеличения их мощности на 20 % в рамках существующих массогабаритных показателей;

снижение стоимости ТАД по сравнению с ТЭД постоянного тока при тех же мощностях;

исключение частот вращения тяговых двигателей, превышающих допустимые (разносные);

повышение КПД всей тяговой системы на 20–40 %;

значительное снижение (в 2–3 раза) затрат на обслуживание и ремонт ТАД;

плавное бесступенчатое регулирование тягового и тормозного усилий электровоза;

возможность функционирования в синергетическом варианте – контактно-аккумуляторный электровоз.

Структура тягового электротехнического комплекса двухосного электровоза.

Упрощенная схема контактно-аккумуляторного электровоза с асинхронным тяговым электрическим приводом показана на рис. 1.

Двигаясь по главным выработкам электровоз работает в контактном режиме, получая питание от контактного провода КП через токосъемник X_A . Далее через автоматический выключатель $QF1$ напряжение поступает на входной фильтр $L_\phi C_\phi$, который

является общим для системы тягового электропривода и зарядного устройства.

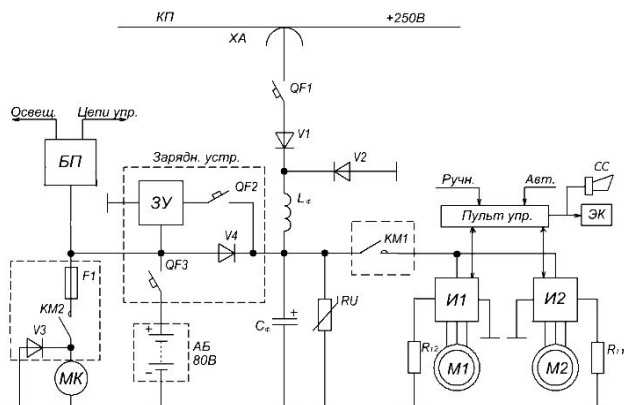


Рис. 1. Упрощенная принципиальная схема гибридного двухосного контактно-аккумуляторного электровоза с асинхронным тяговым электроприводом

В результате такого способа регулирования электромеханические характеристики привода получаются мягкими, напоминающими по форме характеристики двигателей постоянного тока последовательного возбуждения. Это обеспечивает оптимальный режим работы, как самого электропривода, так и системы тягового электроснабжения.

Предусматривается также электрическое торможение тяговых двигателей. При этом отключается контактор $KM1$ и энергия торможения от двигателей $M1$ и $M2$ через инверторы отдается тормозным резисторам R_{T1} и R_{T2} . Интенсивность торможения регулируется тормозными чопперами, находящимися в блоках инверторов.

При режиме автономного функционирования питание ТЭТК электровоза осуществляется от вспомогательной аккумуляторной батареи АБ. Требуемая емкость батареи – 350–400 А, $U_H = 80$ В.

При работе электровоза на главных выработках – под контактной сетью – происходит автоматическая подзарядка аккумуляторной батареи от контактной сети с помощью зарядного устройства ЗУ.

Система управления электроприводом обеспечивает плавное регулирование тока и тягового усилия, а также защиту от буксования. За счет этого максимальное тяговое усилие может быть дополнительно увеличено на 10–20 %. С учётом увеличения веса

максимальная сила тяги электровоза увеличивается на 20–30 % и он будет устойчиво перевозить составы не из 10, как обычно, а из 12 вагонок грузоподъемностью 10 т.

За счет плавного регулирования также снижается вероятность и интенсивность буксования, что уменьшает износ колес и рельсов, а также расход энергии.

Микропроцессорная система управления легко приспосабливается для автоматического управления электровозами при выполнении погрузочных и разгрузочных работ.

Система автоматического управления. Системы автоматического управления движением электровозов органично связаны с системами управления их ТЭТК. С одной стороны, схемные решения этих систем зависят от схем управления электровозов, с другой – потребность автоматического управления предъявляет свои требования к системам ТЭТК электровозов. Применение автоматического управления электровозами налагает свой отпечаток на общую организацию работ на транспорте, создает предпосылки и является этапом дальнейшей автоматизации управления всем транспортным комплексом предприятия.

Применительно к предприятиям по добыче руд чёрных и цветных металлов технология электровозной откатки предусматривает движение нерасцепляемых составов в процессе всего цикла движения. При выполнении погрузочных и разгрузочных работ обмен вагонок осуществляется электровозами путём продвижения всего состава на требуемое расстояние.

На погрузочных работах заняты одновременно двое рабочих: машинист электровоза и рабочий, производящий погрузку. На некоторых шахтах имеется должность «люковой-провожатый», на других погрузку производят рабочие добычных участков, – это не меняет сущности. Рабочий, находящийся у люка, производит погрузку и, по мере загрузки вагонок, для продвижения состава под люком подаёт акустические сигналы машинисту электровоза.

Так как машинист не видит положения вагонок под люком и степень её загрузки, он не может своевременно и точно продвигать

гать состав. В результате этого значительны потери времени, возможна неполная загрузка или наоборот перегрузка вагонеток и просыпание груза на рельсы с последующими затратами на уборку.

Эти недостатки могут быть ликвидированы применением системы автоматического (дистанционного) управления электровозом, что позволяет одному рабочему (машинисту электровоза) производить погрузку, находясь у пункта погрузки, и управлять электровозом на безопасном расстоянии для перестановки вагонеток под пунктом погрузки. Производительность труда погрузочных работ возрастает более чем вдвое, сокращается время погрузки, повышается безопасность ведения работ.

Аналогична эффективность автоматического управления электровозами при разгрузке вагонеток.

Применение систем автоматического управления электровозами, наряду с повышением производительности, даёт возможность существенно повысить безопасность работ при выполнении различных манёвровых операций. Например, при «заталкивании» состава в тупиковую погрузочную выработку машинист может находиться у хвоста состава и управлять электровозом дистанционно, при этом он видит обстановку в выработке, что невозможно из кабины электровоза.

Целесообразно использование автоматического управления также в тех случаях, когда машинисту опасно находиться на электровозе. Так один из вариантов разработанной авторами аппаратуры использовался для управления лёгкими аккумуляторными электровозами при проезде через шлюзовые камеры кессонов при специальных способах проходки выработок [5].

Вместе с тем, к сожалению, внедрение систем автоматического управления электровозами в промышленную эксплуатацию встречает многообразные технологические трудности. Этим, в основном, объясняется ограниченное использование до настоящего времени рассматриваемых систем на транспорте.

Прежде всего, это связано с тем, что применение системы погрузки грузов в подземных условиях с помощью виброустановок привело к тому, что в зоне погрузки невозможно проложить сплошной контактный провод (КП). Под каждым пунктом погрузки, а их может быть до 10 в каждой погрузочной выработке, контактный провод имеет разрывы длиной около 3 м, перекрываемые кабельной перемычкой. Проезд зоны погрузки требует «виртуозной работы» машиниста электровоза и часто сопровождается нарушениями техники безопасности. Разрывы контактного провода в зоне погрузки одновременно являются основным техническим препятствием для внедрения систем автоматического управления электровозами.

К сожалению, и количество несчастных случаев от несанкционированного касания горнорабочими КП в последнее время имеет тенденцию к увеличению. Радикальным решением этой проблемы является применение откатки на базе контактно-аккумуляторных электровозов, когда электровоз в местах погрузки (разгрузки) работает в автономном режиме – при питании от тяговых аккумуляторных батарей [2]. При этом устраняется главная проблема – контактный провод в местах загрузки электровозосоставов.

Известные способы автоматического управления двухосными электровозами разных видов отличаются большим многообразием принципов решений. Наиболее существенное различие между разработками заключается в способе передачи команд управления на движущийся электровоз. Наиболее целесообразно передавать команды управления с помощью высокочастотных сигналов. Сигналы управления могут передаваться по различным каналам: по контактной сети при её наличии, индуктивному каналу, а также радиоканалу.

При отсутствии контактного провода в зонах погрузки (т.е. вариант контактно-аккумуляторного электровоза) команды управления на электровоз могут передаваться двумя способами: через индуктивную связь или через радиоканал. Для индуктивной связи требуется прокладка вдоль

всей зоны управления передающей проводной петли, к которой присоединяются передатчики сигналов управления.

Несомненное достоинство радиоканала – возможность управления из любого места откаточной выработки без предварительной подготовки зоны управления. Однако радиоканал в чистом виде в шахтных условиях имеет ограниченные возможности: свободное распространение радиоволн ограничено из-за большого их поглощения проводящей окружающей средой. Для увеличения зоны управления и повышения надёжности радиоканала необходимо использовать направляющие радиоволн, которыми могут служить контактный провод или, при его отсутствии, естественные или специально прокладываемые изолированные от земли проводники.

Для обеспечения независимой работы необходимо, чтобы каждый электровоз имел свои команды радиоуправления, т.е. свою пару передатчик – приёмник. Это несколько усложняет эксплуатацию аппаратуры при большом количестве электровозов.

Применение радиоканала целесообразно также в тех случаях, когда затруднительно или невозможно применить каналы управления по контактной сети или индуктивный, например, если необходимо свободное перемещение оператора.

Рассмотрим структурную схему радиоуправления электровозом при выполнении погрузочных работ (рис. 2).

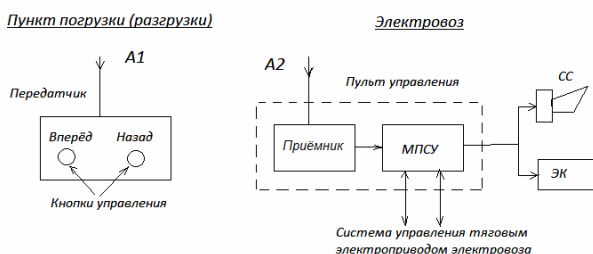


Рис. 2. Структурная схема радиоуправления рудничным электровозом:

А1, А2 – передающая и приёмная антенны; МПСУ – микропроцессорная система управления; СС – сигнальная сирена; ЭК – электропневматический клапан

Основными элементами системы являются передатчик и приёмник радиоуправления. На передатчике имеются кнопки управления движением электровоза «Вперёд» и «Назад». Работа схемы происходит следующим образом.

Приехав к пункту погрузки, машинист переключает схему электровоза на режим дистанционного управления. При этом включается в работу приёмник радиосигналов в пульте управления, режим работы микропроцессорной системы управления (МПСУ) переключается с ручного на дистанционное управление, электровоз затормаживается с помощью пневматической тормозной системы. Затем машинист берёт портативный передатчик сигналов радиоуправления и направляется к пункту погрузки.

Находясь непосредственно у пункта погрузки, машинист электровоза управляет погрузочным устройством, производя загрузку вагонеток. По мере загрузки машинист, нажимая кнопки управления на передатчике, продвигает состав на нужное расстояние, производя смену вагонеток под погрузочным устройством.

При приёме сигнала движения вперёд или назад на электровозе включаются сигнальная сирена СС и электропневматический клапан ЭК, подаётся предупреждающий сигнал и электровоз растормаживается. Затем через 2–3 с включается тяговый электропривод и электровоз плавно начинает движение. При отпускании кнопки управления на передатчике тяговые двигатели отключаются и электровоз затормаживается.

Закончив погрузку, машинист запрашивает маршрут у диспетчера и ведёт состав для разгрузки. Аналогично происходит работа машиниста при дистанционном управлении электровозом в процессе разгрузки состава.

Так как машинист управляет одновременно и загрузкой-разгрузкой вагонеток, и продвижением состава, обеспечивается чёткая слаженная работа без потерь времени, без перегрузки или недогрузки вагонеток, лишних затрат энергии.

Комплексное решение задач применения асинхронного тягового автоматизированного электропривода, комбинированного питания, как от контактной сети, так и от аккумуляторной батареи, дистанционное управление электровозом при выполнении погрузочных и разгрузочных работ позволило создать высокоэффективный тяговый комплекс двухосного электровоза для подземного транспорта.

Выводы

Перспективным направлением создания энергоэффективного и безопасного в эксплуатации двухосного электровоза для предприятий с подземными видами работ является гибридный контактно-аккумуляторный с асинхронным тяговым приводом.

Применение закона оптимального регулирования электротехническим комплексом на базе IGBT-инверторов и ТАД позволит:

получить требуемые «мягкие» характеристики тягового комплекса;

увеличить тяговое усилие электровоза на 20 %, при сохранении мощности, за счет увеличения сцепной массы и понижения скорости движения локомотива;

повысить за счет увеличения массы электровоза и плавного бесступенчатого регулирования частоты вращения ТАД производительность электровозов на 20 %;

более чем в 4 раза увеличить надежность элементов механических передач электровоза;

уменьшить расход электроэнергии на электровозном транспорте на 25–35 %.

Одновременно устраняются значимые для предприятий затраты на сооружение и эксплуатацию контактных сетей в погрузочных выработках, общая протяженность которых составляет около 30 % протяженности контактной сети шахты.

По сравнению с двигателями постоянного тока в 4–5 раз снижаются затраты на ремонт и эксплуатацию асинхронных тяговых двигателей.

Применение автоматического (дистанционного) управления электровозами при погрузочно-разгрузочных работах позволяет уменьшить затраты труда и увеличить

производительность работы ВШТ на 15–25 %, исключить опасность поражения рабочих при проведении погрузочно-разгрузочных операций.

Список использованной литературы

1. Дебелый В. Л. Основные направления развития шахтного локомотивного транспорта / В. Л. Дебелый, Л. Л. Дебелый, С. А. Мельников // Уголь Украины. – 2006. – №6. – С. 30–31.

2. Контактно-аккумуляторный шахтный электровоз с тяговым электротехническим комплексом: IGBT-инвертор-асинхронный электрический двигатель / О. Н. Синчук, И. О. Синчук, Д. А. Шокарев, Е.И. Скапа, Ф. И. Караманиц // Науковий журнал. Вісник СНУ ім. В.Даля. – № 4(158). – Ч. 1.

3. Комбинаторика преобразователей напряжения современных тяговых электроприводов рудничных электровозов / О. Н. Синчук, Н. Н. Юрченко, А. А. Чернышев, И. О. Синчук, О. А. Удовенко, О. В. Пасько, Э. С. Гузов. – К.: 2006, – 250 с.

4. О реализации закона оптимального управления тяговым электротехническим комплексом / Д. А. Шокарев, Е. И. Скапа, Э. С. Гузов, И. О. Синчук // Журнал Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2011. – № 03(79). – С.140–141.

5. Синчук О. Н. Системы управления рудничным электровозным транспортом / О. Н. Синчук. – М.: Недра, 1993. – 255 с.

Получено 25.05.2012

References

1. Debeliy V. L. Basic directions of development of mine locomotive transport / V. L. Debeliy, L. L. Debeliy, S. A. Melnikov // The Coal of Ukraine. – 2006. – № 6.– P.30–31 [in Russian].

2. Pin-storage-battery mine electric locomotive with a hauling electrical engineering complex: IGBT- negator - asynchronous electric engine / O. N. Sinchuk, I. O. Sinchuk, D. A.

Shokarev, E. I. Skapa, F. I. Karamanits // Visnik SNU im. V. Dalya. – № 4(158), is part 1 [in Russian].

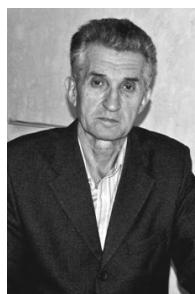
3. Combinatorics of transformers of tension of modern hauling electromechanics of mine electric locomotives / O. N. Sinchuk, N. N. Yurchenko, A. A. Chernishov, I. O. Sinchuk, O. A. Udovenko, O. V. Pasko, E. S. Guzov. – Kyiv: 2006, – 250 p. [in Russian].

4. About realization of law of optimal management of hauling electrical engineering complex / O. N. Sinchuk, D. A. Shokarev, E. I. Skapa, E. S. Guzov, I. O. Sinchuk // *Elektrotechnic and computer systems*. – 2011. – №03(79). – P.140–141 [in Russian].

5. Sinchuk O.N. Control system by a mine electric locomotive transport / O. N. Sinchuk. – Moscow: Nedra, 1993. – 255 p. [in Russian].



Синчук
Олег Николаевич,
д. т. н., проф., зав.каф.
СЭЭМ Кременчугского
нац. ун-та им. М. Остро-
градского,
E-mail: seem@kdu.edu.ua



Гузов
Эдуард Семенович,
к.т.н., доц. каф. СПЭЭТ
ГВУЗ Криворожского
нац. ун-та,
E-mail: speet@ukr.net



Синчук
Игорь Олегович,
к.т.н., доц. каф. СПЭЭТ
ГВУЗ Криворожского
нац. ун-та,
E-mail: speet@ukr.net



Скапа
Евгений Иванович,
аспирант каф. СЭЭМ
Кременчугского нац. ун-
та им. М.Остроградского,
E-mail: seem@kdu.edu.ua



Баулина
Марина Анатольевна,
инженер-электрик,
г. Кривой Рог,
E-mail: speet@ukr.net